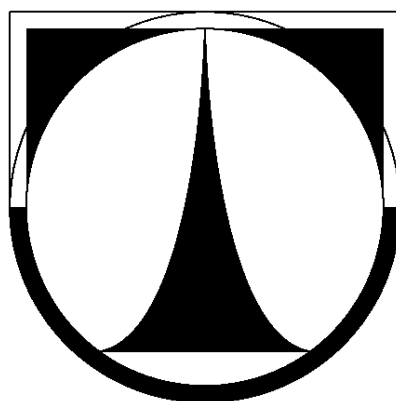


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec, 2010

Ondřej Kůrka



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměřením tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

**Teoretický rozbor historie a současnosti polymerů a metod
zpracování plastů**

**A theoretical analysis of the history and present of
polymers and the methods for processing plastics**

Ondřej Kůrka
KSP – TP – B67

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.
Konzultant bakalářské práce: Ing. Jakub Zeman

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	50
Počet tabulek	0
Počet obrázků	26
Počet příloh	1

Datum: 28. 5. 2010

zadání

A N O T A C E
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Ondřej Kůrka

Téma práce: Teoretický rozbor historie a současnosti polymerů a
metod zpracování plastů

A theoretical analysis of the history and present of
polymers and the methods for processing plastics

Číslo BP: KSP – TP – B67

Vedoucí BP: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. - *TU v Liberci*

Konzultant BP: Ing. Jakub Zeman - *TU v Liberci*

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá historickým vývojem polymerů a metod zpracování plastů. Obsahem práce je teoretický rozbor historie polymerních materiálů a zpracování plastů od doby tzv. století polymerů až po současnost, rozvoj a spotřeba polymerů a výhled pro jejich využití v budoucnosti. Součástí je i podrobnější přehled historie vstřikování plastů v ČR.

Abstract:

The bachelor thesis deals with the historical development of polymers and plastics processing methods. The content of the work is a theoretical analysis of the history of polymers and plastics processing since the so-called polymer century to the present, the development and consumption of polymers and the prospects for their use in the future. It also includes a more detailed overview of the history of plastic injection molding in the Czech Republic.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 28. 5. 2010

.....

Ondřej Kůrka

Na Okruhu 17/978

46001 Liberec 1

Poděkování:

V úvodu bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Aleši Auspergerovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Jakubu Zemanovi za jejich odborné vedení, rady a věcné připomínky, díky kterým jsem se mohl lépe orientovat v celé problematice při vypracování předkládané bakalářské práce.



Obsah

1. Úvod	8
2. Historie polymerů	8
2.1 Pojem polymer	8
2.2 Století polymerů	12
2.3 Rozvoj polymerů	24
3. Historie metod zpracování plastů	28
3.1 Historie vstřikování plastů v ČR	39
4. Diskuse	44
5. Závěr	45
6. Seznam použité literatury	46
7. Seznam příloh	47



1. Úvod

S polymery, potažmo plasty, se dnes každý z nás v běžném životě setkává všude. Avšak málokdo si uvědomuje, do jaké doby sahá jejich historie. Historie a vývoj lidské civilizace jsou neodmyslitelně spojeny s materiály a materiálovou technologií. Archeologové využívají materiály pro periodizaci vývoje lidstva. Např. po starší a mladší době kamenné následovaly doby měděná, bronzová a železná. O 20. století se dá říct, že šlo o dobu železnou, přesněji ocelovou. V průběhu 20. století se ale materiálové spektrum neobyčejně rozšířilo, zejména se objevily polymerní materiály. Tento pokrok úzce souvisí i se světovými válkami, kdy vědecký vývoj probíhal ještě rapidněji než v období bez válek, protože státy chtěly být před nepřítelem vždy o něco napřed, což se pochopitelně týkalo i materiálů a jejich technologií. O obrovském nárůstu výroby plastů svědčí i to, že během posledních 15-ti let se celosvětová výroba plastů zdvojnásobila. K takovému růstu potřebovala ocel celých 35 let. Pokud jde o 21. století, mnozí odborníci zabývající se zákonitostmi vědeckotechnického a průmyslového pokroku zastávají názor, že půjde o století obrovského rozvoje využití plastů.

Tato práce se bude zabývat historií polymerů od jejich prvopočátků až po současné moderní trendy, včetně metod jejich zpracování.

Nejprve bude vysvětleno několik základních pojmů, přiblíží dobu, kdy člověk začal objevovat a využívat přírodní polymery, poté nahlédne do období tzv. „století polymerů“, kde osvětlí historii kaučuku a plastů, vymezí historicky důležité mezníky a zmíní se i o rozvoji, spotřebě a budoucnosti polymerů. V další části nás seznámí s historií metod zpracování polymerů. Chybět samozřejmě nebude ani závěrečné shrnutí této práce, diskuse a seznam použitých pramenů. [6, 9]

2. Historie polymerů

2.1. Pojem polymer

Pod pojmem „polymer“ můžeme označit všechny makromolekulární látky přírodní nebo syntetické. Termín polymer zavedl do chemického názvosloví J. J. Berzelius. Předpona poly- znamená více nebo mnoho, a slovo polymer tedy vyjadřuje, že jde o substanci složenou z velkého množství jednotek, „merů“.

Za makromolekulární látku se považuje taková látka, jejíž molekulová hmotnost je vyšší než 10000. Tyto látky se připravují tzv. **polyreakcemi**, což jsou jednoduché chemické reakce, které se mohou mnohokrát opakovat. Těchto polyreakcí se mohou zúčastnit jen takové chemické sloučeniny, které mají v molekule alespoň dvě funkční skupiny schopné reagovat s dalšími molekulami. Opakování polyreakcí je tedy



umožněno vhodnou chemickou strukturou výchozích nízkomolekulárních sloučenin, které se označují pojmem **monomer**. Jednotlivé články pak označujeme jako tzv. „mery“. V důsledku spojení mnoha monomerních jednotek vzniká **polymer** – látka se zcela novými vlastnostmi.

Pojem polymer můžeme ještě rozšířit na tzv. **lineární polymery** – ty jsou tvořeny dlouhými řetězci, na kterých mohou být buď kratší, nebo delší větve. Zpravidla jsou rozpustné a tím je možno jednotlivé makromolekuly separovat. Protože polymery jsou tavitelné (v případě, že v tavenině nedojde k chemickým reakcím a viskozita se s časem nemění), můžeme je zařadit mezi tzv. **termoplasty**. Pokud lineární polymery obsahují mery různého složení, pak se jedná o **kopolymery**.

Polyreakcí je několik druhů, základní jsou ale tři, a to: polymerace, polykondenzace a polyadice.

Polymerace: jde o nejčastější typ polyreakce. Při této reakci se molekuly monomeru, který obsahuje dvojnou vazbu mezi dvěma atomy uhlíku, vzájemně spojují řetězovým mechanismem v polymer, aniž by současně vznikala nějaká vedlejší nízkomolekulární látka. Vznikající polymer je pak složen z jednotek o stejné hmotnosti, jakou měl výchozí monomer. Nárůst makromolekuly je velmi rychlý (ke vzniku makromolekuly stačí jen zlomek sekundy), ale vytvářené makromolekuly nejsou stejně dlouhé. Polymerací se připravuje většina termoplastů.

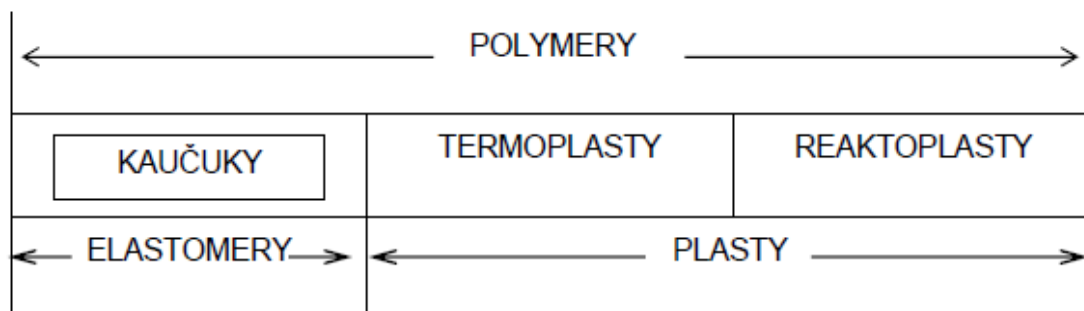
Polykondenzace: jedná se o stupňovitou reakci, kdy se velikost rostoucí molekuly zvětšuje přibližně geometrickou řadou. Reakce se účastní zpravidla monomery různého druhu a vznik makromolekuly je provázen vždy tvorbou vedlejší nízkomolekulární sloučeniny (např. vody), kterou je potřeba z reakční směsi odstraňovat. Molekulová hmotnost strukturních jednotek je menší než celková hmotnost původních monomerů. Rychlost této reakce je poměrně malá (může probíhat i několik hodin), ale to umožňuje reakci v libovolném stadiu přerušit. Touto reakcí se připravují především reaktoplasty.

Polyadice: touto reakcí se připravují polymery, které kromě uhlíku obsahují v řetězci i neuhlíkové atomy. Podobně jako u polymerace nevzniká vedlejší produkt. Rychlost polyadice je malá. Polyadicí se připravují např. polyuretany.

Zjednodušeně by se tedy dalo říci, že polymer je látka s velkými molekulami, které obsahují většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků. Polymer je ve formě výrobku prakticky v tuhém stavu, ale v určitém stadiu zpracování ve stavu v podstatě kapalném, dovolujícím, většinou za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku nejrozumnější tvar, podle předpokládaného použití.



Polymery můžeme dělit z hlediska jejich chování za běžné a za zvýšené teploty (obr. 1). [1, 2, 4]



Obr. 1 – Rozdělení polymerů [3]

Základní pojmy

Elastomer: je vysoce elastický polymer, který můžeme za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná.

Plast: je polymer, který je za běžných podmínek většinou tvrdý, často i křehký. Při zvýšené teplotě se stává plastickým (odtud nese svůj název) a tvarovatelným.

Termoplast: jedná se o podmnožinu plastů. Je to polymer, který zahříváním přechází do plastického stavu a pak je možné ho tvářet do požadovaného tvaru. Do pevného stavu přejde ochlazením pod určitou teplotu, která je pro daný plast typická.

Reaktoplast: rovněž se jedná o podmnožinu plastů. Někdy se v technické literatuře špatně nazývají také duroplasty. Ke zpracování přicházejí jako poměrně nízkomolekulární sloučeniny, které v první fázi zahřívání rovněž měknou a je možné je tvářet, avšak tvářitelnost si drží jen omezenou dobu, protože zahříváním se rozběhne polyreakce (zpravidla polykondenzace). Výsledkem je pak prostorově zesíťovaná struktura. Tento děj se nazývá vytvrzování a je nevratný.

Kaučuk: je to nejpočetnější podmnožina elastomerů. Vyrábí se z něj pryž. [2, 3]

Prvopočátky polymerů

Lidská společnost se setkávala s makromolekulárními látkami od nepaměti. Můžeme konstatovat, že všechny pevné produkty rostlinného i živočišného původu sestávají z velkých molekul – makromolekul. Řada technologických procesů, při kterých bylo pracováno s přírodními makromolekulárními látkami, byla vyvinuta empiricky v době, kdy znalosti



o probíhající chemických reakcích byly velmi omezené. K takovým příkladům patří koželužství, vulkanizace přírodního kaučuku i výroba derivátů celulózy.

Historicky první polymery, které začal člověk průmyslově využívat, byly polymery přírodní: kaučuk a jeho strukturní analog gutaperča, dále hedvábí, vlna, len nebo konopí.

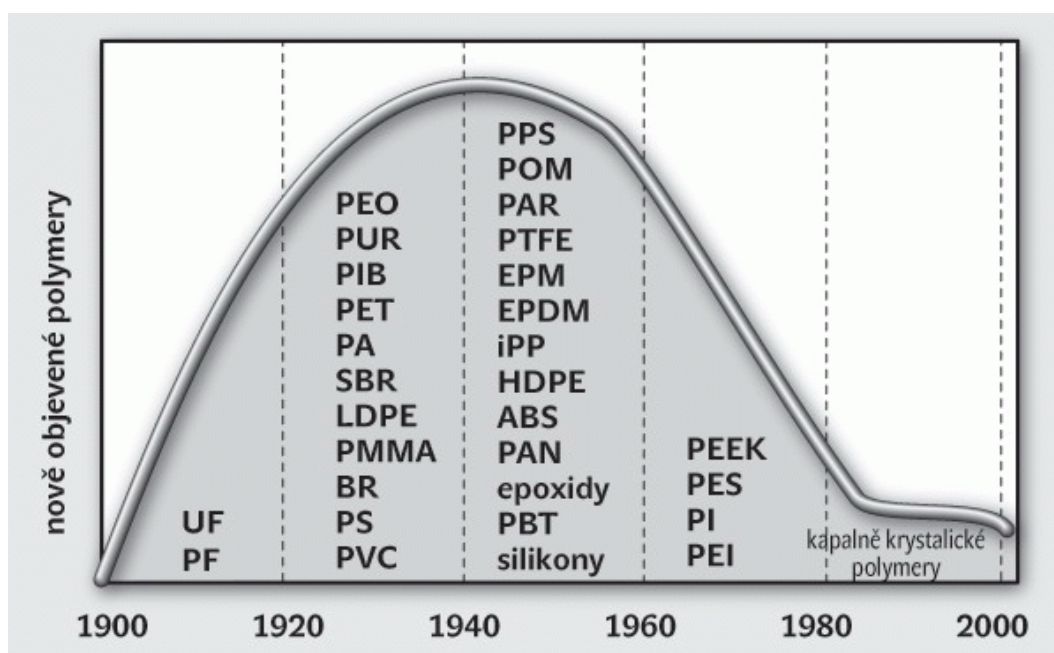
Nejzazší prvopočátky výroby a zpracování přírodních polymerů bychom ale mohli datovat až do doby neandrtalců. V nedávné době totiž archeologické vykopávky odhalily poblíž německého města Halle záhadné hrudky, které měly z jedné strany otištěné pazourkové ústěpy a z druhé strany dřevo. A tak se usoudilo, že tím neandrtálcem lepili čepele do dřevěných násad. Po chemické analýze se zjistilo, že je to tmel, který vzniká suchou destilací kůry břízy bradavičnaté, která v tu dobu rostla ve střední Evropě, při teplotě nad 340 stupňů Celsia.

Ve středověku byl v Anglii ve 12. století založen Cech zpracovatelů rohoviny, Tento cech byl založen na poznatku, že rohovina při teplotě 120 °C změkne a dá se vyválnovat do poloprůhledných desek. Z nich se například zasklívala okna nebo vyráběla skla do luceren. Což můžeme srovnávat s dnešní technologií válcování polyetylenu nebo polypropylenu.

Další poznatky o historii zpracování polymerů člověkem sahají do doby Kolumbových mořeplaveb, konkrétně ke konci 15. století, kdy Kryštof Kolumbus při cestě do Jižní Ameriky objevil přírodní kaučuk. V letech 1493 až 1496 si již při druhé Kolumbově objevné výpravě námořníci všimli, že tamní domorodci – Indiáni si pro své hry zhotovovali míče z vyschlé kapaliny, která vytékala z poraněných stromů – dnes nazývaných jako kaučukovníky. Kapalinu nazývali „Hheve“ (odtud nese kaučukovník latinský název „Hevea“, nebo také „Cau-Uchu“ (odtud termín „kaučuk“). Obojí v jazyku domorodců znamenalo „plačící dřevo“. Kromě již zmíněné výroby míčů Indiáni kaučuk používali také k výrobě nepromokavého plátna a obuvi.

Do Evropy se ale přírodní kaučuk dostal až v roce 1736 a k jeho prvnímu komerčnímu využití došlo až v roce 1791. Tehdy se z něj vyráběly nepromokavé lodní plachty a pytle na přepravu pošty, kdy se tyto látky impregnovaly roztokem kaučuku v terpentýnové silici. Takto upravený textil se ale v létě při vysokých teplotách stával lepivým a v chladných obdobích zimy tvrdnul a křehnul.

Největší rozvoj ve vývoji polymerů přišel na konci 19. století. Následujících sto let můžeme označit jako tzv. „století polymerů“. Časové rozložení objevů nových polymerů v průběhu 20. století znázorňuje obr. 2. Nejplodnější období spadá do třicátých až padesátých let. [3, 10]



Obr. 2 – Historie objevů nových polymerů ve 20. století [9]

2.2. „Století polymerů“

Historie kaučuku

Objev vulkanizace kaučuku

Termín „vulkanizace kaučuku“ zavedl přibližně roku 1842 anglický výzkumník William Brockendon. Odvodil jej z řecké mytologie od jména boha Vulkána, jehož činnost je charakterizována působením síry a tepla. Objevení vulkanizace kaučuku ale mají na svědomí dva nezávislí objevitelé, kteří odstranili nedostatky zpracování kaučuku z dřívějších dob – Američan Charles Goodyear a Angličan Thomas Hancock. Goodyear v USA a Hancock ve Velké Británii tak položili základy vulkanizace kaučuku. [3]

Pryž

Goodyear s Hancockem zjistili, že zahříváním směsi kaučuku se sírou vzniká produkt nových vlastností, kterému dnes říkáme pryž.

Goodyear za svůj objev dostal patent v roce 1844. V něm mimo jiného uvádí, že přeměna kaučuku v pryž proběhne rychleji, přimíchá-li se ke kaučuku a síře ještě oxid zinečnatý, přičemž kaučukovou směs je možno vyrobit buď v roztoku terpentýnu, nebo na válcovacím stroji s vyhřívanými válci. [3]

Ebonit

Hanckock nezávisle na Goodyearovi objevil, že změněných vlastností kaučuku lze dosáhnout v roztavené síře. Tímto způsobem také jako první připravil tvrdou pryž, které dnes říkáme ebonit. Ve svém patentu z roku 1843 dále popisuje, že rychlost chemické reakce síry s kaučukem se zdvojnásobí zvýšením teploty o 10 stupňů Celsia. V našem okolí se ebonit používá nejčastěji jako náhražka ebenového dřeva, součást elektrických přístrojů, náústky saxofonu, dýmky, pianové klávesy, bowlingové koule (obr. 3). [3]



Obr. 3 – Bowlingové koule z ebonitu [wikipedia.org]

Rozvoj gumárenského průmyslu

Skutečný rozvoj gumárenského průmyslu nastal až po vynálezu pneumatiky, kterou v roce 1845 jako první patentoval skotský inženýr Robert William Thomson ve Velké Británii. Jeho vynález našel ale praktické uplatnění teprve po roce 1888, kdy obdobnou pneumatiku patentoval rovněž Skot, veterinární lékař John Boyd Dunlop. To byl zásadní vynález, který umožnil vývoj automobilu a další technické pokroky v dopravě.

Od této doby se datuje rychlý rozvoj gumárenského průmyslu. S tímto rozvojem souvisela ale i stále rostoucí spotřeba kaučuku a na přelomu 19. a 20. století bylo přírodního kaučuku, který se získával z divoce rostoucích stromů, nedostatek. To byl hlavní podnět k pokusům připravovat kaučuk uměle. Začali se zakládat plantáže pro jeho pěstování a kaučuk v přírodní formě se začal těžit i mimo oblast tropické Ameriky. [3]

Výroba syntetického kaučuku

V r. 1860 se Granvilu Williamsovi podařilo z produktů destilace přírodního kaučuku izolovat čistou látku, kterou nazval izopren. Tuto látku se podařilo o 19 let později přeměnit zpět na kaučuk francouzskému chemikovi Bouchardatovi. Tím dal základ výrobě polyizoprenu, který bychom jako jediný ze syntetických kaučuků mohli nazvat kaučukem umělým. Jeho výrobu patentovali až v roce 1910 dva Angličané - Strong a Mathews a současně s nimi německá firma Bayer.

Již předtím však velkého pokroku v syntéze kaučuku dosáhli ruští chemici – Kondakov a Lebeděv. V r. 1900 I.L. Kondakov zjistil, že kaučukový produkt poskytuje nejen izopren, ale při zahřívání se sodíkem



nebo hydroxidem draselným, i dimethylbutadien. S.V. Lebeděv pak roku 1909 prokázal, že přeměny na kaučuk jsou schopny všechny uhlovodíky, které mají dvě dvojné vazby mezi atomy uhlíku v otevřeném řetězci, mezi kterými se nachází jedna jednoduchá vazba – nebo-li konjugované dieny.

Tento objev pomohl během první světové války Německu, které v důsledku blokády mělo přírodního kaučuku nedostatek a na základě toho zahájilo výrobu polydimethylbutadienu - prvního syntetického kaučuku. Pneumatiky se z něj sice dělat nedaly, ale k výrobě ebonitových skříní pro akumulátory do ponorek se hodil dobře. Ve třicátých letech Němci průmyslově zvládli výrobu butadienového, butadien-styrenového a butadien-akrylonitrilového kaučuku. O několik let později dochází k prudkému rozvoji syntetických kaučuků i v USA. [3]

Přírodní kaučuk z plantáží

Roku 1872 přišel kurátor muzea Farmaceutické společnosti v Anglii James Collins s nápadem zakládat na Dálném Východě kaučukovníkové plantáže. Neobdržel ovšem povolení vyvézt z Brazílie semena ani sazenice kaučukovníku. V roce 1876 se však Henry Wickhamovi, anglickému osadníkovi zastupujícímu britskou vládu, podařilo dovézt v duté holi tajně do Anglie 70 000 semen, z nichž v tropickém skleníku Královských botanických zahrad v Kew Gardens vyrostlo 2 000 sazenic, které byly následně zaslány a vysázeny na Ceylonu (dnešní stát Srí Lanka). Tam se dobře uchytily, byly rozmnoženy a dále byly distribuovány do Malajsie a na Borneo.

V těchto zemích kaučukovník brzy zdomácněl, a ačkoliv ještě v roce 1905 byl prakticky všechn kaučuk získáván z divoce rostoucích stromů tropické Ameriky, o dvacet let později již byla hlavním producentem plantážového kaučuku tropická Asie. Ta je dodnes největším vývozcem přírodního kaučuku. [3]

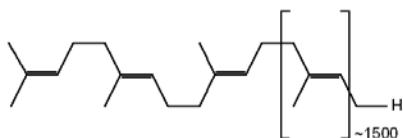
Historie plastů

Gutaperča

První plast, který člověk začal využívat k obchodním účelům, byl druh gummy, který se podobal kaučuku, byl průhledný, pevný a pružný. Nazýval se gutaperča. Tento výraz pochází z malajských slov „getah“, což znamená kaučuk, a „percha“, které označuje samotný druh stromu. Tyto stromy jsou 5–30 metrů vysoké a kmeny mají v průměru až 1 metr.

Roku 1843 si lékař Dr. William Montgomerie všiml, že tamní domorodci gutaperču používají k výrobě rukojetí k nožům a bičům. Na jeho popud pak byla pryskyřice vytékající po naříznutí ze stromu „percha“

sbírána a zasílána do Anglie k vědeckému zkoumání a průmyslovému zpracování.



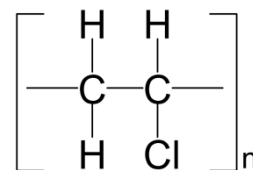
Obr. 4 – Chemická struktura gutaperče [11]

Z pohledu chemické struktury (obr. 4) je gutaperča polyterpen, polymer izoprénu (trans-1,4-polyizoprén). Avšak na rozdíl od kaučuku, který je izomerem cis, je gutaperča izomerem trans, v důsledku čehož je gutaperča mnohem méně elastická.

Známý anglický fyzik Michael Faraday, mimo jiné objevitel elektromagnetické indukce, pak zjistil, že gutaperča je výborným izolantem elektrického proudu, a to i v prostředí kapalně vody. Toto zjištění vedlo k prvnímu projektu propojení Evropy s Velkou Británií podmořským kabelem, který měl sloužit k přepravě elektrické energie a přenosu hlasu. První pokus o podmořské telegrafní spojení Evropy a Británie byl uskutečněn v srpnu roku 1850. Jednalo se o jednoduchý měděný kabel, izolovaný právě gutaperčou. [3, 11]

Polyvinylchlorid

První syntetický plast polyvinylchlorid (známý pod zkratkou PVC), byl dvakrát objeven v 19. století. Nejprve francouzským chemikem a fyzikem Henri Victorem Regnaultem v roce 1835 a později roku 1872 Eugenem Baumannem. V obou případech se tento polymer objevil jako bílá pevná látka uvnitř baněk vinylchloridu, které byly vystaveny slunečnímu svitu.



Obr. 5 –
Strukturní vzorec PVC [12]

Na počátku 20. století se ruský chemik Ivan Ostromislensky a Fritz Klatte z německé chemické společnosti Griesheim-Elektron pokoušeli polyvinylchlorid využít ke komerčním účelům, ale bez úspěchu, protože tehdy připravený polyvinylchlorid byl příliš křehký.

Odstranit tento nedostatek se podařilo až roku 1925 americkému vynálezci Waldo Lonsbury Semonovi, který spolupracoval se společností BF Goodrich. Semon k polyvinylchloridu vytvořil několik přísad, které dělaly materiál pružnější a lépe zpracovatelný. Polyvinylchlorid tak brzo dosáhl velkého komerčního využití. Dnes je tento materiál druhou nejpoužívanější umělou



Obr. 6 – Potrubí z PVC [12]

hmotou na Zemi. Strukturální vzorec PVC vidíme na obr. 5, možné použití pro výrobky na obr. 6. [3, 12]

Celuloid

Vůbec poprvé hmotu Celuloid připravil roku 1856 Alexander Parkes v anglickém městě Birmingham. Svůj produkt popsal jako „tvrdou, elastickou a vodě odolnou látku“. Tento objev téhož roku patentoval jako vodě odolný materiál pro tkané textilie, ale nenašel úspěšné komerční využití.



Obr. 7 – Plnicí pero z celuloidu [13]

Roku 1862 ale byla v Londýně pořádána průmyslová výstava, kde Alexander Parkes tento objev představil laikům i odborné veřejnosti a pro ně byla nová hmota, „látka tvrdá jako rohovina, ale ohebná jako kůže, která mohla být odlévána nebo lisována, barvena a řezána...“, velmi zajímavá a Parkes za ni na výstavě obdržel bronzovou medaili. Toto dílo, které se připravovalo odpařením roztoku nitrocelulózy, kdy se koncentrovaný roztok nitrocelulózy přiváděl do zařízení, kde se velká část rozpouštědla při zvýšené teplotě a tlaku odpařila a teprve pak se přidala barviva a vznikla pevná hmota, tvárná za tepla, dostalo jméno podle svého vynálezce – Parkesin.

Parkes se s tímto vynálezem roku 1866 pokusil prorazit a založil společnost na výrobu a prodej Parkesinu. Firma ale neuspěla a roku 1868 zanikla. I přes tento neúspěch ale Parkes v podstatě nastartoval a založil rodinu nespočetných nových hmot, které dnes říkáme plasty.

O větší rozšíření Parkesinu se postaral až průkopník plastikářského průmyslu v Americe, tiskař z New Yorku John Wesley Hyatt, kterého v roce 1868 zaujal inzerát nabízející odměnu za navržení náhradního materiálu za gutaperču a slonovinu pro výrobu kulečnických koulí, které se do té doby vyráběly z drahé slonoviny. Hyatt uspěl s hmotou, kterou získal změkčením pyroxidinu (nitrocelulózy s malým obsahem dusíku) kafrém. Kafr pro změkčení dřívě používal i Parkes a také anglický vynálezce Daniel Spill, který se dokonce s bratry Hyattovými soudil o patent, ale teprve John a jeho bratr Isaiah zjistili, jaké má být přesné množství kafru pro plastifikaci nitrocelulózy. Nová hmota tak dostala název Celuloid a brzy nahradila do té doby používané výbušnější nitrocelulózkové plasty.

Později se J.W. Hyatt se svým bratrem Isaiahem Smithem Hyattem získali dalších 75 patentů na výrobu nových plastů.

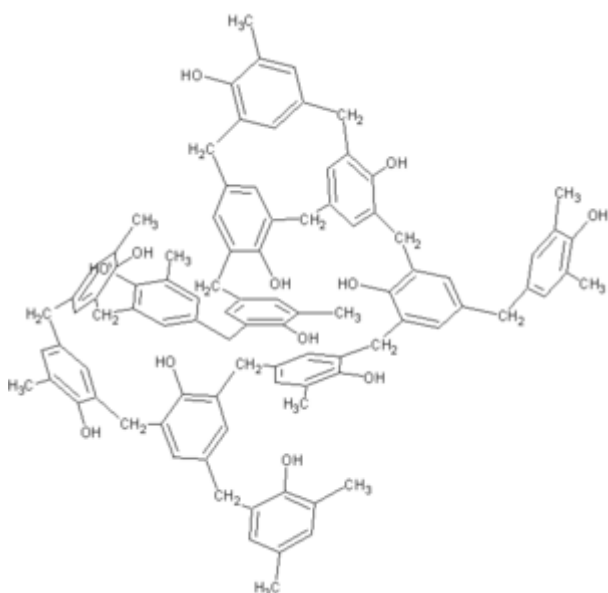
S rozvojem celuloidových filmů byl položen základ pro fotografický průmysl — začala výroba kinofilmu (24 × 36 mm) a svitkových filmů. Rychle po nástupu celuloidových filmů zanikla jejich jediná konkurence - drahé fotografické desky. Až s nástupem digitální fotografie na přelomu 20. a 21. století začaly celuloidové filmy ustupovat do pozadí.

Jako termoplasty našly celuloidy široké využití v 19. století a v první polovině 20. století. Vyráběly se z nich například hřebeny, rámečky brýlí, rukojeti nožů, psací pera, pravítka atd. viz. obr. 7. [3, 13, 14]

Bakelite

Hmota Bakelite, která v češtině zobečněla pod názvem „bakelit“, je fenolformaldehydový polykondenzát pryskyřice, který v roce 1907 jako

první připravil belgický chemik Leo Hendrik Baekeland, po tom co si všiml prací publikovaných v 70. letech 19. století Adolfem von Baeyerem, jako vůbec první průmyslově vyráběnou umělou hmotu.



Obr. 8 – Část prostorové struktury bakelitu [14]

Kromě prací von Baeyera se Leo Baekeland také opíral o výzkum Hermanna Staudingera, což byl německý chemik, který položil teoretické základy makromolekulární chemie. Po experimentech s fenolem a formaldehydem zjistil, že tyto dvě sloučeniny při zvýšené teplotě navzájem exotermicky

reagují za vzniku tuhého kondenzátu – pryskyřice. Také zjistil, že v této pryskyřici jsou obě sloučeniny vázané různými způsoby, čímž vytvářejí poměrně složitou prostorovou strukturu. Po oddestilování reakcí vzniklé vody zůstala jen měkká hmota, která se dala tvarovat pomocí forem. Prostorovou strukturu bakelitu vidíme na obr. 8.

Baekeland si rychle uvědomil možnosti, které bakelit nabízí a 25. května 1910 založil společně s podnikatelem J. Rütgersem společnost Bakelite GmbH ve městě Erkner nedaleko Berlína. V té době byl fenol jen odpadem při destilaci kamenného uhlí a až firma Bakelite jej začala ve velké míře využívat k výrobě bakelitu.

Bakelit se rozšířil velmi rychle – už v 30. letech 20. století jen v Německu existovalo více než 100 výrobců nejrůznějších předmětů z bakelitu.

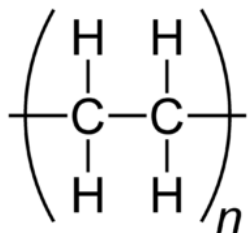
Bakelit měl v minulosti velmi široké použití v domácnostech; obzvlášť kuchyňské přístroje, telefony, rádia, různé ozdobné předměty, bižuterie, kancelářské potřeby a elektroinstalační materiál (obr. 9). Později se tak pod pojmem bakelit v hovorové řeči označovaly víceméně všechny umělé hmoty. [3,15]



Obr. 9 – Rádio se skříní z bakelitu [15]

Polyetylen

Polyetylen poprvé náhodně připravil roku 1898 chemik Hans von Pechmann při pokusech zahřívání diazomethanu. Když jeho kolegové Eugen Bamberger a Friedrich Tschirner blíže prozkoumali bílou, voskovou látku, kterou se mu podařilo vytvořit, zjistili, že obsahuje dlouhý řetězec -CH₂ a nazvali ji polymethylen. Strukturní vzorec dnešního polyetyleny vidíme na obr. 10.



Obr. 10 –
Strukturní vzorec polyetyleny [16]

Roku 1933 chemici Eric Fawcett a Reginald Gibson v anglickém městě Northwich zvládli jeho první průmyslovou výrobu, když pomocí extrémně vysokého tlaku a vysoké teploty (tlak 100 MPa až 200 MPa za teploty 150 °C až 400 °C) a směsi etylenu a benzaldehydu vyrobili dostatečně vysokomolekulární homopolymer etylenu s vlastnostmi plastu. Protože ale chemická reakce měla za důsledek vznik stop kyslíku, což znamenalo znečištění materiálu, experiment pro další průmyslovou výrobu nebyl dokonalý a časem byl postup různě modifikován.

Dostatečně vysokomolekulární homopolymer etylenu s vlastnostmi plastu se poprvé podařilo připravit až roku 1935. Roku 1939 byla zahájena jeho průmyslová výroba – jednalo se o vysokohustotní polyetylen (označuje se HDPE).

Až do roku 1955 panoval obecný názor, že etylen lze polymerovat pouze za vysokých tlaků. Německý chemik Karl Ziegler ale ve spolupráci s Italem Giulio Nattou vymysleli katalyzátor, připravený z alkylderivatů hliníku a chloridu titaničitého, který umožnil beztlakovou

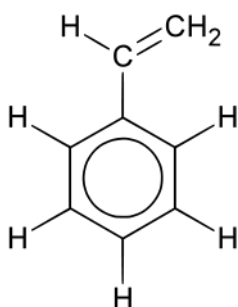


Obr. 11 – Obal z polyetyleny [16]

polymeraci a výrobu polyetyleny za nízkých tlaků – začal se vyrábět tzv. nízkohustotní polyetylen (označuje se LDPE). Za vynález katalyzátoru také byla Zieglerovi roku 1964 a o rok později i Nattovi udělena Nobelova cena za chemii.

Polyetylen je v současnosti nejpoužívanějším polymerem na světě. Jeho zásluhou předčila již v roce 1979 produkce plastů celosvětovou výrobu oceli. Jeho roční produkce je odhadována na více než 60 milionů tun. Výrobek z polyetyleny je na obr. 11. [3, 16, 17]

Polystyren



Obr. 12 -
Strukturní
vzorec styrenu
[18]

Polystyren byl objeven v roce 1839 Berlínským lékárníkem Eduardem Simonem. Po destilaci styroxu, což je pryskyřice z tureckého stromu *Liquidambar orientalis*, získal olejovitou kapalinu, kterou pojmenoval styrol. Po několika dnech si všiml, že kapalina zhoustla, předpokládal, že šlo o oxidaci styrolu kyslíkem, a tak tuto látku pojmenoval styroloxid. Roku 1845 ale anglický chemik John Blyth a německý chemik August Wilhelm von Hofmann zjistili, že stejná přeměna styrolu proběhne i bez přítomnosti kyslíku a produkt pojmenovali metastyrol. Pozdější analýza prokázala, že metastyrol a styroloxid jsou identické sloučeniny. Roku 1866 Marcelin Berthelot správně určil, že metastyrol

vznikl ze styrolu polymerací.

Později se zjistilo, že jen samotným zahřátím styrolu nastává řetězová reakce, jejímž produktem je makromolekulární látka. Tento fakt vedl ke dnešnímu pojmenování sloučeniny jako polystyren. S průmyslovou výrobou polystyrenu začala Německá společnost IG Farben zhruba v roce 1931.

Dnes se vyrábí polystyren v několika formách, podle účelu jeho použití. Známe standardní, houževnatý, pěnový a zpěňovatelný. Strukturní vzorec styrenu viz. obr. 12, příklad použití je na obr. 13. [3, 18]



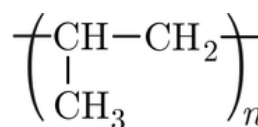
Obr. 13 – obal na CD
z polystyrenu [18]

Polypropylen

Polypropylen byl poprvé připraven roku 1951 chemiky J.P. Hoganem a Robertem Banksem. Průmyslová výroba začala v Itálii v roce 1957 na základě výzkumu Itala Giulia Natta z roku 1954, který zjistil, že v přítomnosti katalyzátorů Zieglerova typu vzniká z monomeru



vysokomolekulární, vysoce krystalický izotaktický polypropylen. Expandovaný polypropylén (PP-E) se začal vyrábět v 80. letech 20. století. Strukturní vzorec polypropylenu viz. obr. 14. [3, 19]



Obr. 14 –
Strukturní vzorec
polypropylenu
[19]

Důležité mezníky v historii polymerů

- 1493 Objev přírodního kaučuku Evropy (při druhé Kolumbově objevné cestě do Jižní Ameriky)
- 1736 První vzorky přírodního kaučuku v Evropě (přivezl Charles Maria de la Condamine)
- 1791 Impregnace tkanin kaučukovými roztoky (patent S. Peala)
- 1820 Objev plastikace kaučuku (Thomas Hancock)
- 1823 Zdvojování tkanin pomocí kaučuku (patent Ch. Mackintosche)
- 1826 Stanovení sumárního chemického vzorce přírodního kaučuku (Michael Faraday)
- 1832 Zjištění, že kaučuk ve směsi se sírou ztrácí lepivost (F.W. Ludersdorf)
- 1835 Laboratorní příprava polyvinylchloridu (H.V. Regnault)
- 1837 Vyvinutí stroje na natírání tkanin kaučukem (T. Hancock)
- 1839 Objev vulkanizace kaučuku sírou Charlesem Goodyearem (patent mu byl udělen až v r. 1844)
- 1843 Objev gutaperči Evropy (William Montgomerie v Malajsi)
- 1843 Nezávislý objev vulkanizace sírou a laboratorní příprava tvrdé pryže neboli ebonitu (Thomas Hancock)
- 1845 Pneumatiky na jízdní kola (ideový návrh R.W. Thomsona)
- 1858 Objev regenerace pryže (H.L. Hall).
- 1860 Izolace izoprenu z přírodního kaučuku (Granvil Williams)
- 1868 Průmyslové využití nitrocelulózy (k výrobě kulečnickových koulí a brýlových obrouček)



Důležité mezníky v historii polymerů

- 1872 Návrh na pěstování kaučukovníku na plantážích (James Collins)
- 1873 První americká továrna na zpracování nitrocelulóзовých plastů (založena v New Jersey)
- 1876 Ze semen divoce rostoucího kaučukovníku vypěstovány sazenice (v londýnské botanické zahradě)
- 1879 Laboratorní syntéza polyizoprenu (G. Bouchardat)
- 1885 Laboratorní syntéza izoprenu (I.L. Kondakov)
- 1888 Znovuobjevení pneumatiky na jízdní kolo (patent Johna Boyda Dunlopa)
- 1889 Laboratorní syntéza dimethylbutadienu a polymethylbutadienu
- 1890 První továrna na výrobu pneumatik (pro jízdní kola a vozy tažené koňmi)
- 1891 Příprava měďnatého hedvábí (M. Framery a J. Urban)
- 1892 Příprava viskóзовých vláken (Ch.F. Cross, E.J. Bevan a C. Beadle).
- 1894 Vlákná z acetátu celulózy (patent P. Schutzenbergera)
- 1895 Vyvinutí pneumatiky pro automobily
- 1898 Izolace kaseinu z mléka (W. Krische)
- 1900 Laboratorní syntéza polydimethylbutadienu (I.L. Kondakov).
- 1906 První organické urychlovače sirné vulkanizace (G. Oenslager)
- 1909 Objev přeměnitelnosti všech konjugovaných dienu na kaučuk (S.V. Lebeděv)
Objev ztužování kaučuku sazemi (F.C. Mathews)
Průmyslové využití fenolformaldehydových lisovacích hmot (k výrobě sluchátek k telefonním přístrojům)
- 1910 Průmyslová výroba pneumatik pro letadla
První patenty pro výrobu polyizoprenu (v Anglii a v Německu)
- 1912 Průmyslové využití kaučuku ztuženého sazemi (I. Tew a G. Oenslager)



Důležité mezníky v historii polymerů

- 1913 Vynález radiální konstrukce pneumatik (patent Hamiltona Graye a Thomase Slopera)
- 1914 Průmyslová výroba polydimethylbutadienu a jeho zpracování na tvrdou pryž
- 1919 Průmyslová výroba plastů na základě kaseinu
- 1920 Syntéza prvního konstrukčního plastu (kopolymeru styrenu s maleinanhydridem)
- 1925 Průmyslové využití polyvinylchloridu
- 1926 Průmyslové využití alkydových pryskyřic
- 1929 Průmyslové využití močovinoformaldehydových lisovacích hmot a polysulfidového kaučuku
- 1931 Příprava vláken z polyvinylchloridu (E. Huber)
Průmyslové využití chloroprenového kaučuku
- 1935 Patentována výroba vlákna z mléčného kaseinu (A. Ferrereti).
Příprava prvního polyamidového vlákna (W.H. Carothers)
Průmyslové využití butadienakrylonitrilového kaučuku a ethylcelulózy.
- 1936 Průmyslové využití akrylových polymerů a polyvinylacetátu
- 1937 Průmyslové využití butadienakrylového kaučuku
- 1938 Objev polytetrafluorethylenu (R.I. Plunkett)
Průmyslové využití butyrátu celulózy, polystyrenu, polyamidů, polyvinylacetalů a polyvinylidenchloridu
- 1940 Průmyslové využití butylkaučuku
- 1941 Příprava polyethylentereftalátu (J.R. Whinfield a J.T. Dickson)
- 1942 Průmyslové využití polyethylenu
- 1943 Průmyslové využití polysiloxanů
- 1944 Syntéza polyvinylidenfluoridu
Průmyslová výroba polytetrafluorethylenu



Důležité mezníky v historii polymerů

- 1947 Průmyslové využití epoxidových pryskyřic
 - 1948 Průmyslové využití kopolymerů akrylonitrilu, butadienu a styrenu
Praktické odzkoušení pneumatik s radiální konstrukcí a bezdušových pneumatik
 - 1954 Průmyslové využití polyuretanů
Vývoj a uplatnění Zieglerových katalyzátorů stereospecifické polymerace
 - 1957 Příprava prvního typu fluorouhlíkového kaučuku (kopolymeru vinylidenfluoridu s hexafluorpropylenem)
Průmyslové využití polypropylenu a polykarbonátů
 - 1959 Průmyslové využití butadienového a izoprenového kaučuku
 - 1961 Průmyslová výroba polyvinylidenfluoridu
 - 1962 U firmy Shell se rozpracovávají blokové kopolymery butadienu a styrenu, které vedou k přípravě termoplastických elastomerů (SBS)
 - 1963 Průmyslové využití kaučuků na základě terpolymerů ethylenu, propylenu a nekonjugovaného dienu
 - 1964 Průmyslové využití ionomerů, polyfenylenoxidu, polyamidů a ethylenvinylacetátových kopolymerů
 - 1965 Průmyslové využití termoplastických elastomerů
 - 1966 Zahájení výroby standardního malajského kaučuku
 - 1971 Příprava prvního polymeru s kapalnými krystaly (polyamidu ve formě vlákna)
 - 1987 Zahájení výroby epoxidovaného přírodního kaučuku a práškového butadienakrylonitrilového kaučuku
 - 1989 Firma Monsanto představuje nový kopolymer ethylen/chlorsulfonovaný polyethylen (ECSM)
 - 1996 Vznik evropské internetové burzy polymerních odpadů a recyklátů
- [3]



2.3. Rozvoj polymerů

V posledních letech se světová výroba plastů neustále zvyšovala a její rozvoj tak nemá v materiálové historii žádné obdoby. Polymerní materiály dnes představují nejvýznamnější segment výroby a spotřeby podle objemu mezi všemi technickými materiály. Plasty tak postupně předběhly ostatní materiály. V současnosti není srovnatelný obor, pokud se týká novinek v materiálech, technologiích zpracování i finálních výrobků.

Důvodem tohoto obrovského rozvoje jsou například výhody polymerů vůči klasickým materiálům. Izolují elektricky a tepelně, jsou šetrné k přírodě, vyznačují se kluznými vlastnostmi i bez maziv, mají několikanásobně menší měrnou hmotnost než klasické materiály, dále propouštějí elektromagnetické vlny a gama-záření, mají tlumící schopnosti, nepodléhají korozi a rozšiřují možnosti pro uplatnění designu.

Nové modifikace pak dále zlepšují mechanické hodnoty, chrání proti povětrnostním vlivům, dále zlepšují kluzné vlastnosti, zaručují elektrickou vodivost a rovněž zlepšují vzhled, např. přidáním barev.

Vlastnosti plastů umožňují oproti klasickým materiálům i snadnou zpracovatelnost - plasty mohou být upravovány vstřikováním, obráběním, vytlačováním, válcováním, litím, stříkáním, svařováním. Mimořádná je jejich tvárnost zejména při zvýšené teplotě, která je umožněna jejich skladbou z vláknitých, řetězovitých makromolekul, ale i životnost a odolnost proti stárnutí a v neposlední řadě i výhodný poměr mezi užitnými vlastnostmi a cenou.

Ze všech těchto důvodů spotřeba plastů neustále narůstá. Plasty pronikly do všech odvětví zpracovatelského průmyslu, zejména do obalového, elektronického, elektrotechnického a automobilového průmyslu. Mimořádně významná je jejich úloha i v letectví a kosmonautice (materiály první volby v kosmických technologiích, skafandry, solární vozidla, ochrana před meteority aj.), ve zdravotnictví (biologicky odbouratelné polymery, jejichž pomocí může lékař vytvořit tělesnou tkáň pacientům postiženým úrazem, srdeční systémy, systémy srdečních chlopní, systémy ochrany před syndromem náhlého úmrtí), ale i při výrobě spotřebního zboží, kde je nejvíce oceňována možnost zpracovat plast do jakéhokoliv tvaru. [9]



Světová spotřeba

Podle údajů PlasticsEurope a BASF v roce 2006 ve světě vyrobeno kolem 221 milionů tun plastů a kaučuku (z toho 176 milionů tun materiálů) včetně 19 milionů tun kaučuku na technickou pryž a pneumatiky. Pro srovnání: světová výroba surové oceli v roce 2006 dle údajů IISI představovala 965 milionů tun.

Z publikovaných údajů PlasticsEurope Brusel, z jejich 19. Zprávy o výrobě, spotřebě a využití plastů „Compelling Facts about Plastic 2009“ však docházíme k závěru, že po rekordní světové výrobě plastů v roce 2007, která činila 260 milionů tun, došlo zejména vlivem začínající krize ve 3. a 4. čtvrtletí roku 2008 poprvé po 34 letech k poklesu výroby plastů na 245 milionů tun, což je pokles zhruba o 5,8%. Jinak řečeno výroba se vrátila na úroveň roku 2007.

Světové spotřebě nepomohla ani zvýšená spotřeba v Číně s nárůstem o 10,1%. Nevyšla tak ani soukromá prognóza renomovaného odborníka Ing. Františka Vorose z ledna 2009, že v roce 2008 dosáhne světová výroba plastů hodnoty 270 milionů tun. [7, 20]

Spotřeba v Evropě

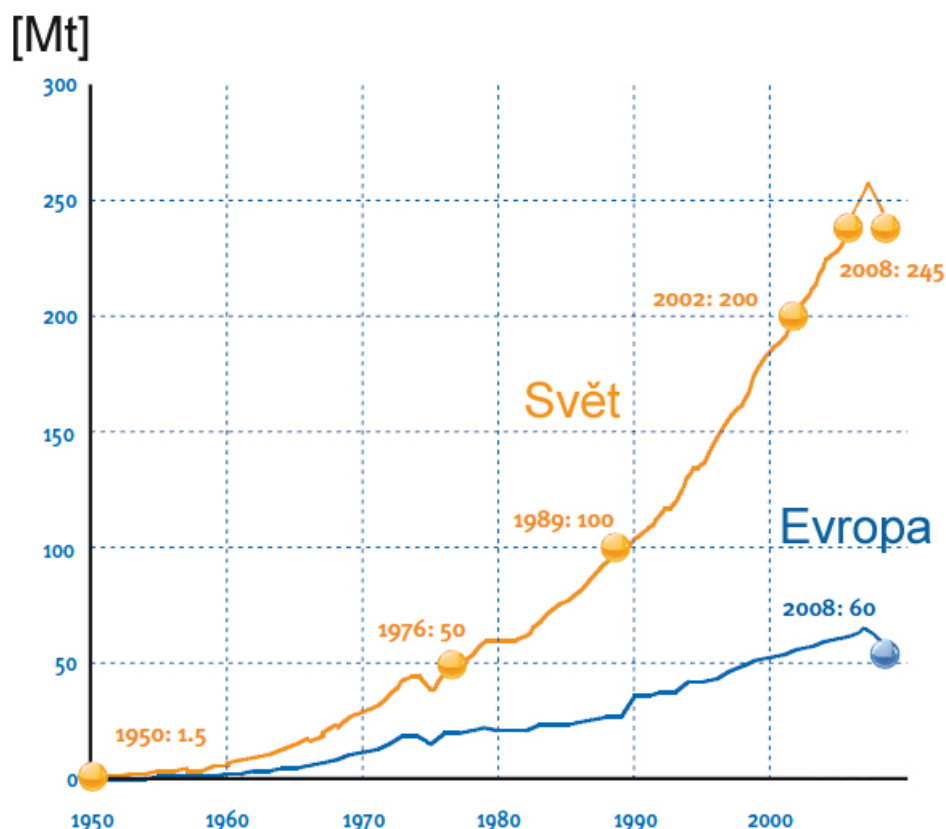
Evropa si s produkcí 60 milionů tun plastů a podílem 25% drží vedoucí roli na světě. Největším výrobcem plastů je Německo se 7,5% podílem. Výroba plastů se v ČR v roce 2008 zvýšila o 5,7% a překročila 1,1 milionů tun. Prognóza růstu do roku 2015 je příznivá – celosvětově v průměru o 4,5% ročně, v centrální Evropě pak o 7,3% ročně.

Spotřeba primárních plastů dosáhla v Evropě hodnoty 48,5 milionů tun, což je 7,5% pokles proti roku 2007. Hlavními spotřebiteli jsou Německo s 11,6 miliony tun, následuje Itálie se 7,7 miliony tun. Česká republika zaznamenala nárůst spotřeby na 1,05 milionu tun, což je růst o 5%.

Nejvíce se zvýšila spotřeba lehčeného polystyrenu a to o 13,8%. Dominantní roli ve spotřebě plastů v Evropě si udržely polyetyleny (28%), následované polypropylenem (18%), polyvinylchloridem (12%), polystyrenem (8%) a polyethylentereftalátem (7%).

Hlavní aplikační systémy zůstaly: balení (38%), stavebnictví (21%), automobily (7%). [7, 20]

Srovnání nárůstu spotřeby plastů v Evropě a ve světě je patrný z obr. 15.



Obr. 15 – Srovnání nárůstu spotřeby plastů v Evropě a ve světě [20]

Budoucnost plastů

Plasty jsou u řady technických řešení už prakticky nenahraditelné. Přicházejí nové a nové vlny inovací, výzkum pokračuje dynamicky v materiálech, technologiích i finálních výrobcích. Z plastů se bude vyrábět stále více předmětů, pro něž se dnes používají jiné materiály. Plastikářský průmysl, který v širším pojetí zahrnuje vše - od zpracování surovin na materiály přes výrobu nástrojů, strojů a zařízení až po zpracování nejrůznějších výrobků - je dnes ve vyspělých zemích nositelem a motorem největšího počtu inovací.

Pro hi-tech výrobky se budou používat tzv. "chytré plasty". Budou "chytřejší" a budou mít lepší, často uživatelsky modifikovatelné parametry než současná generace, což umožní i vyšší výkony zařízení, k jejichž výrobě budou použity. Budou moci obsahovat různé vestavěné senzory, umožňovat budovat vyspělé komunikační sítě, nebo se v případě poškození budou dokonce schopny samy opravit.



S pomocí nových vodivých plastů, a pokroku dosaženého při jejich vývoji bude možné vyvíjet rychlejší, levnější čipy, což znamená další významný posun v oboru informačních technologií a komunikace.

Díky využití moderních plastů bude možné vyrábět vozidla s ultranízkými emisemi, schopná ujet na litr paliva stovky kilometrů (v prototypové experimentální podobě již takovéto vozy existují), nebo letadla s nízkou spotřebou a minimálním vlivem na životní prostředí, při jejichž stavbě budou použity moderní lehké a ekologické kompozitní materiály.

Nasazení nových materiálů a technologií založených na jejich využití pomůže lidstvu bojovat s hrozícím nedostatkem potravin a pitné vody pro stále rostoucí populaci naší planety - např. při ochraně potravin a vodních zdrojů, ale i jako náhrada tradičních přírodních materiálů.

Většina výrobců i výzkumníků z oboru spojených s materiály se shoduje v tom, že plasty budou hrát v našem životě stále významnější roli, a mohou pomoci řešit mnohé z klíčových problémů, které nyní před naší civilizací a jejím dalším vývojem stojí. Od klimatických změn, až po zajištění dostatku pitné vody pro stále přibývajícím počet lidí, rychlý technologický vývoj v globalizovaném světě, bezpečnost dopravy apod. Velké možnosti se tomuto oboru otevírají hlavně se současným nástupem nanotechnologií.

Nanotechnologie je technický obor, který se zabývá tvorbou a využíváním technologií v měřítku řádově nanometrů. Využívání struktury a vlastností nanočástic v materiálech je převratnou a moderní technologií, využitelnou ve velké škále oborů a odvětví lidské činnosti. **Nanovlákn** je vlákn o šířce několik desítek až tisíc atomů. Unikátní jsou právě jeho vlastnosti. Díky svým rozměrům mají obrovský měrný povrch, naopak váží pouze 0,1 - 1 gram na metr čtvereční. Vzhledem k nízké hmotnosti je při jejich výrobě spotřebováno malé množství polymerů. I když jsou některé polymery drahé, nanovlákn přijde relativně levně, řádově na jednotky až desítky korun na metr čtvereční.

Další z dnes již známých materiálů budoucnosti jsou **bioplasty**. Pod tímto pojmem si můžeme představit širokou škálu materiálů, které se od sebe liší chemickým složením, mechanickými vlastnostmi, ale také svým původem – lze mezi ně zařadit jak rostlinné tak původně mikrobiální produkty, které se však lidé za účelem zvětšení produkce pokouší produkovat také pomocí rostlin. I přes velkou rozmanitost mají bioplasty společné výrobní schéma. Vstupní surovinou je rostlina. Po její sklizni je v několika technologických krocích vyroben produkt, který se po čase přemění na kompost, který opět poslouží k růstu dalších rostlin. Tím se



uzavírá kruh, který lze částečně přirovnat k recyklaci. V současnosti jsou nejdůležitějšími skupinami bioplastů plasty odvozené od škrobu, polymery kyseliny mléčné a polyhydroxyalkanoáty. [9, 21, 22, 23]

3. Historie metod zpracování plastů

Pojem zpracování plastů můžeme definovat jako činnost zabývající se operacemi, které mají za úkol zvýšit užitnou hodnotu polymerních materiálů. Zpracování plastů se primárně zabývá přeměnou surových polymerních materiálů na hotové výrobky, což zahrnuje nejen tvarování, ale i chemické složení a veškeré chemické reakce vedoucí k makromolekulárním úpravám. Ke zpracování plastů se tak používá řada technologií, jejichž použití závisí nejen na technologických vlastnostech zpracovávaného plastu, ale také na tvaru a funkci hotového výrobku, kterou má během své životnosti plnit. [5]

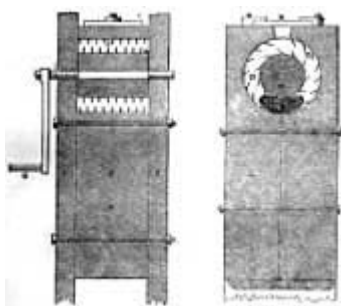
Tak jako se lidská společnost setkává s polymery již odnepaměti (hovoříme o přírodních polymerech), i principy plastikářské technologie jsou mnohem starší, než se domníváme.

Následující chronologický přehled vylíčí historii nejdůležitějších strojů, které byly k dispozici pro zpracování, popřípadě výrobu polymerů na začátku prudkého období vývoje polymerů a plastikářského průmyslu, který se konal po druhé světové válce, kdy se začaly věda a technologie katalyticky slučovat.

Budeme mluvit o období mezi lety 1820-1980, ve kterém byly vynalezeny stroje a produkty vzešlé z invenční praxe. Tyto stroje tak vytvořily novou třídu materiálů a de-facto nový průmysl. V polovině století, kdy následovalo "klasické" zpracování polymerů, byla zavedena a využita technická analýza a simulace procesů, stejně jako další inovace, a tak bylo vytvořeno mnoho vylepšení a nových vývojů, jež vedly k dnešnímu arzenálu rozmanitých sofistikovaných strojů a způsobů zpracování polymerů a polymerových systémů se stále rostoucí komplexností a variabilitou.

Moderní způsoby a stroje na výrobu a zpracování polymerů mají své kořeny v gumárenském průmyslu 19. století a ve zpracování přírodního kaučuku. [5]

Hnětací stroj „the Pickle“



Nejstarší dokumentovaný příklad stroje na zpracování pryže je hnětací stroj na pryž sestávající z ozubeného rotoru uváděného do rotace navíjecím elementem uvnitř ozubené válcovité dutiny. Thomas Hancock ho vyvinul v roce 1820 v Anglii pro recyklaci odpadu zpracované přírodní pryže a nazval ho “the Pickle” („kyselým nálevem/lákem/marinádou“) k oklamání konkurence (obr. 16).

Obr. 16 – hnětací stroj „the Pickle“ [5]

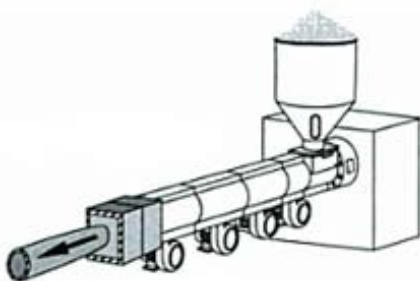
Kalandr pro povlakování povrchu

O několik let později, v roce 1836, Edwin Chaffee z Roxbury, ze státu Massachusetts, vyvinul čtyřválnový kalandr pro kontinuální potahování látky a kůže pryží. Chafeeho vynálezy se dodnes stále ještě používají v gumárenském a plastikářském průmyslu.

Henrymu Goodyearovi, bratru Charlese Goodyeara, se připisuje vývoj dvouválnového drtiče ohřívaného parou. [5]

První vytlačovací stroj – extrudér

V roce 1845 v Anglii se vynálezci Henry Bewleyemu a Richardu Broomanovi podařilo vyvinout zřejmě první vytlačovací stroj. Tento stroj, který vynálezci pojmenovali jako „ram extruder“, byl používán pro potahování drátu (obr. 17).



Podobný vytlačovací stroj vyrobil například první podmořský kabel, položený mezi Doverem a Calais v roce 1851, nebo i první transatlantický kabel spojující Anglii s Amerikou v roce 1860. [5]

Obr. 17 – Stroj pro potahování drátů [5]

Šnekový extrudér

Další potřeba kontinuálního protlačování, zejména v oblasti drátů a kabelů, přinesla nejdůležitější vývoj v oblasti zpracování vytlačovacích strojů, tzv. jednoduchých šnekových extrudérů, kde se extrudér skládal pouze z jednoho šneku. Nazývaly se „jednošnekový vytlačovací stroj“ a označovaly se zkratkou SSE. Extrudéry SSE tak rychle nahradily nekontinuální ram extrudéry.

Nepřímé důkazy o prvním vynálezci šnekového extrudéru nasvědčují tomu, že Američan A.G. DeWolfe mohl ve Spojených státech vyvinout první šnekový extrudér již na počátku šedesátých let 19. století. Jako první ale zveřejnila technický náčrtek šneku extrudéru v roce 1873 firma Phoenix Gummiwerke.

V roce 1876 si vývoj tohoto stroje nárokovali také vynálezci ze Spojených států William Kiel a John Pich. Ale vynalezení šnekového extrudéru, který má velký význam ve zpracování polymerů, je spojeno až s patentem Mathewa Graye, který si svůj stroj, jenž mimo jiné obsahoval dvojici vyhřívaných podávacích válců, nechal patentovat v Anglii v roce 1879. Jeho patent jako první popisuje a jasně vysvětluje funkce a použití tohoto typu stroje.

Nezávisle na Grayovi vyvinul roku 1879 šnekový extrudér další anglický vynálezce Francis Shaw a ve Spojených státech tento objev učinil John Royle o rok později. [5]

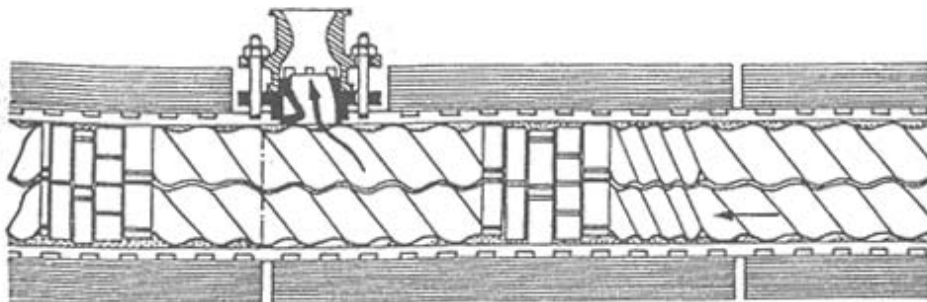
Vícešnekový extrudér

Vícešnekové vytlačovací stroje se objevily přibližně ve stejnou dobu jako ty jednošnekové. Vynálezce Paul Pfleiderer zavedl protiběžný nespolutabírající zdvojený šnekový extrudér již v roce 1881, zatímco řada spoluzabírajících šnekových vytlačovacích strojů přišla až mnohem později.

R.W. Easton přišel s rotačním šnekovým extrudérem rotujícím ve stejném směru v roce 1916 a A. Olier s protiběžným šnekovým extrudérem s pozitivní zdvihovou závislostí v roce 1921. [5]

Hnětací stroje ZSK

První stroj, který vedl ke strojům typu ZSK (obr. 18), což jsou hnětací stroje s dvěma šneky, které jsou vybaveny trojúhelníkovými hnětacími vložkami, vynalezl Rudolf Erdmenger společně ve spolupráci s firmou Bayer a s týmem Werner a Pfleiderer Co. v čele s Gustavem Fahrem a Herbertem Ockerem.



Obr. 18 - Dvoušnekový hnětací stroj s vložkami typu ZSK [24]

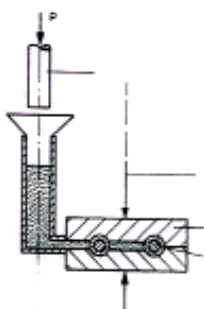
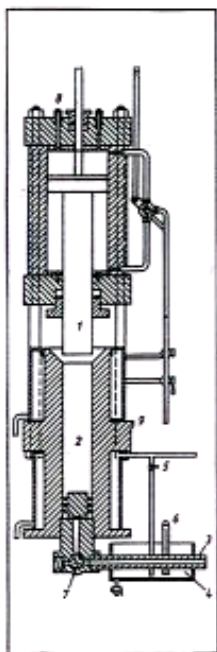
Tyto stroje měly tu výhodu, že se šneky díky stejnému smyslu otáčení obou šneků mažou a stírají navzájem, a tak umožňují zpracování široké škály polymerních materiálů. Kromě toho zahrnují tzv. hnětací vložky, které jsou pootočené tak, že jejich hřbety vytvářejí trojchodý nebo dvouchodý šnek. Umožňují tak efektivní, intenzivní a rozsáhlé mísení. Rudolf Erdmenger se svými spolupracovníky také rozdělili stroj na jednotlivé úseky válců a šneků, což umožňovalo přizpůsobení konstrukce strojů k potřebám konkrétního zpracování plastu.

Dnes existuje široká škála typů extrudérů a šnekových mísičů se dvěma nebo více šrouby. Některé z nich se rovněž používají v potravinářském průmyslu. [5, 24]

Zařízení pro vstřikování plastů

Počátek historie technologie vstřikování je spojován se jménem John Wesley Hyatt, který spolu s bratrem Isaiahem v roce 1870 v USA patentoval materiál, z něhož později vznikl Celuloid, včetně zařízení pro jeho vstřikování (obr. 19). Tento stroj pro vstřikování Celuloidu odvodil ze strojů na vstřikování kovů a lití kovů pod tlakem, které byly vynalezeny a úspěšně použity již dříve. Hyatt byl průkopnickou postavou, která přispěla k mnoha dalším inovacím ke zpracování polymerních materiálů, včetně

vyfukování. Jeho vynálezy také pomohly k rychlejšímu průmyslovému použití bakelitu.



Obr. 19 – Pístový vstřikovací stroj bratrů Hyattových [5]

Vstřikování plastů se jako výrobní obor začal rozvíjet po první světové válce. V roce 1921 pánové A. Eichengrün a H. Bucholtz vyvíjejí v Německu jako první na světě komerční pístový ruční vertikální vstřikovací stroj. V téže roce je v USA založena firma B+B Metal Works, později Modern Tool and Dice Co., vyrábějící formy a zabývající se obchodem s nimi. V roce 1926 německá firma Eckert und Ziegler nabízí první horizontální ruční vstřikovací stroj s formou na pohyblivých upínacích deskách.

V roce 1929 zahajuje výrobu pístových vstřikovacích strojů firma Ing. Vltavský v Rakovníku (Československo). V roce 1930 firma Ford Motor Co. začíná montovat komponenty z plastů do svých osobních automobilů. V roce 1932 je patentován elektricky vyhřívaný plastikační válec, v roce 1933 je vyvinut hydraulicky poháněný uzavírací systém, v roce 1936 se v USA zavádějí do vstřikovacích strojů časové ovladače. Firma D-M-E v roce 1942 představuje formu složenou z typizovaných dílů, tzv. normálií, v roce 1943 firma BASF patentuje plastikační šnek s vratným pohybem, v roce 1950 je vyvinut a v USA patentován první vyhřívaný horký rozvod.

První vstřikovací stroj se šnekovou plastikací místo pístové postavila firma Windsdor Ltd. v roce 1951, v roce 1956 je patentována šneková vstřikovací jednotka v dnešní podobě. První pneumatický nasavač byl vyroben v roce 1953, v roce 1954 byl poprvé představen vyjiskřovací stroj. Ultrazvukové svařování bylo zavedeno do plastikářské výroby v roce 1959, sušení granulátu suchým vzduchem začalo v roce 1968, v téže roce se objevují vstřikovací stroje s plně elektronickým řízením.

Vícekomponentní technologie se objevuje v roce 1969, v roce 1973 se do řízení vstřikovacích strojů zavádí regulace se zpětnou vazbou,



v roce 1977 se začínají zavádět mikroprocesorové zpětnovazební řídicí systémy. V roce 1979 je prvně nasazen na nepohyblivou upínací desku vstřikovacího stroje robot. [5]

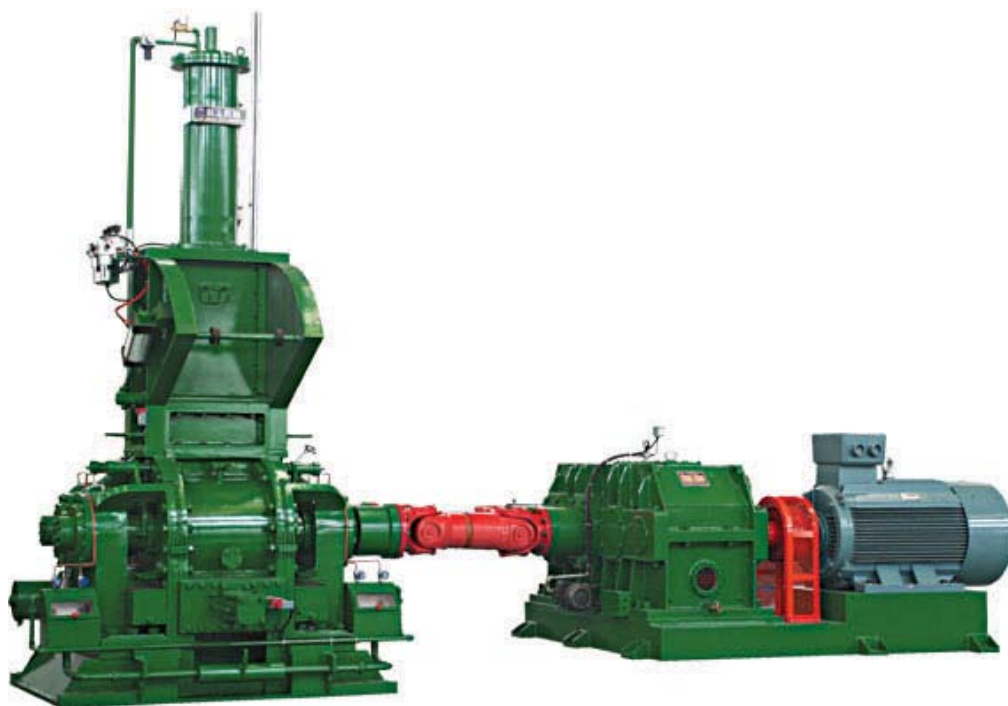
Extrudér se zubovým čerpadlem

První použití zubových čerpadel pro polymerní materiály pochází od vynálezce Willoughby Smithe, který v roce 1887 patentoval takový stroj, který umožňoval zásobování dvojicí válců.

Vícestupňová zubová čerpadla byla patentována C. Pasquettim. Na rozdíl od jednoduchých šnekových vytlačovacích strojů s jedním šnekem a vytlačovacích strojů se dvěma šneky rotujícími ve stejném směru jsou zubová čerpadla čerpadly s pozitivní zdvihovou závislostí, jako jsou extrudéry rotující v opačném směru. [5]

Banburyho mísič

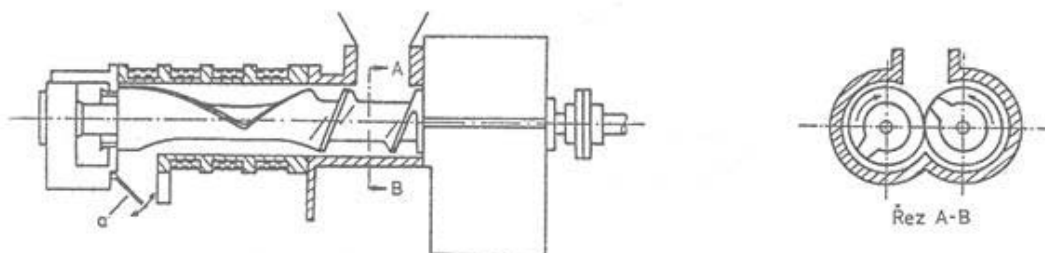
Potřeba mísení jemných částic sazí a dalších přísad do pryže učinila mísení pryže na otevřených válcových drtičích dosti nepříjemným. Ke konci 19. století byla vyvinuta řada uzavřených dávkových mísíčů, avšak byl to až Fernley H. Banbury, který v roce 1916 patentoval vylepšenou konstrukci, která se používá dodnes (obr. 20). Stroj postavila Birminghamská slévárna Birmingham Iron Foundry, která se později sloučila se slévárnou Farrel Foundry and Machine Ansonia z Derby. Tento stroj umožnil velké zlepšení rozsahu a kvality vstřikování – vytvořili tak moderní vstřikovací stroj. Tento mísič pryže je do dnes stále oblíbeným strojem na zpracování pryže a je nazýván Banburyho mísič po svém vynálezci. [5]



Obr. 20 – Banburyho mísič [5]

Farrelův kontinuální mísič

V roce 1969 u firmy Farrel vyvinul Peter Holdetal spolu s dalšími spolupracovníky další "kontinuální verzi" Banburyho mísiče nazvanou Farrelův kontinuální mísič (FCM), (obr. 21). Předchůdce tohoto stroje byl mísič s dvěma rotory nesoucí název Knetwolf (hnětací vlk), vynalezený Ellermanem v Německu v roce 1941.



Obr. 21- Farrelův kontinuální mísič [5]

Farrelův kontinuální mísič nikdy nesplňoval normy pro mísení pryže, ale naštěstí byl vyvinut v době, kdy se na trh dostal polyetylen a polypropylen, což jsou polymery o vysokých hustotách. Tyto vysoké hustoty, vyžadovaly při jejich zpracování následné reakční tavení, mísení a peletizaci. A právě Farrelův kontinuální mísič se ukázal být pro tyto operace velmi efektivní. [5]



Hnětač „Kneader“

Další mísič vynalezl v roce 1945 německý vynálezce List pro firmu Buss AG a nazval ho hnětač (Kneader). Jednalo se o mísič s jedním rotorem, který osově osciluje, zatímco se rotor otáčí. Kromě toho byl rotor šnekového typu a měl přerušované lopatky, které umožňovaly, aby hnětací kolíky byly fixovány ve válci.

Šnekový dávkový extrudér

Šnekový vstřikovací stroj s pístem, který byl využíván intenzivně až do přelomu padesátých a šedesátých let dvacátého století, byl zcela nevhodný pro polymery citlivé na teplo a nehomogenní výrobky. Tuto anomálii však řešilo zavedení tzv. „torpéda“ (vločky) do výstupního konce stroje, což výrobu o něco zlepšovalo. Později byly použity šnekové plastikátory k přípravě stejnoměrné směsi pro vstřik přiváděné k pístu šnekového stroje.

Vynález stroje, který by vstřikoval dávky plastu do forem ve stejném množství, byl připsán W. H. Willertovi ze Spojených států. Stroj měl to zlepšení, že píst měl nově i vratný pohyb. Tento vynález velmi zlepšil rozsah a kvalitu vstřikování.

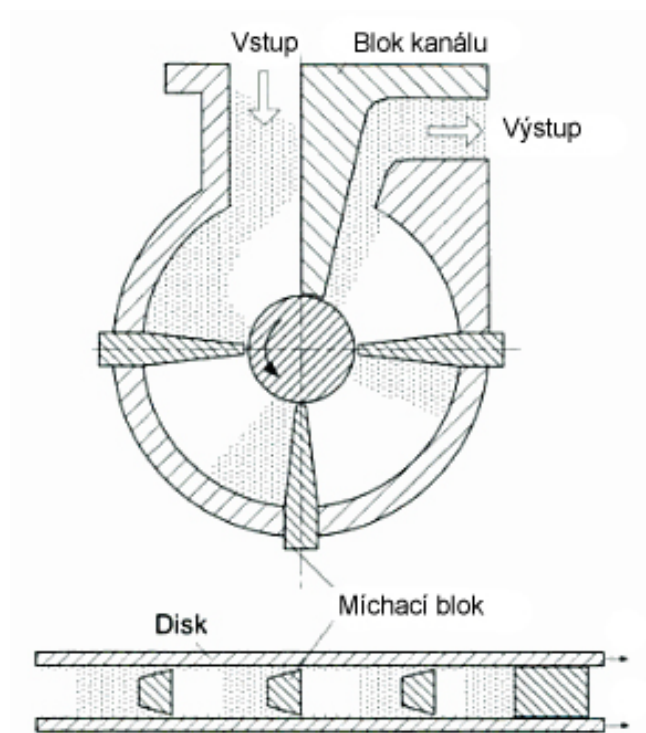
Většina moderních zpracovacích strojů, s výjimkou válcových drtičů a kalandrů měli ve svém jádře rotor šnekového typu. Několik vynálezů bylo ale i navrženo pro tzv. "bezšnekové extrudéry". [5]

Diskpack

V roce 1959 Bryce Maxwell a A.J. Scalora navrhli extrudér s normálním napětím, který se skládal ze dvou blízko sebe umístěných kotoučů v relativním rotačním pohybu, s jedním diskem (kotoučem) s otvorem ve středu. Rozdíl v primárním normálním napětí, který polymerní materiály vykazují, generoval dostředivé síly a tak se materiál čerpal směrem dovnitř k otvoru.

Robert Westover navrhl extrudér s kluzným prvkem (deskou), rovněž sestávajícím ze dvou kotoučů v relativním pohybu, kdy jeden kotouč byl vybaven deskami, které se stupňovaly a deskami vytvářejícími tlak viskózním tahem, jako to dělají šnekové vytlačovací stroje.

Až v roce 1979 byl vynálezcem Z. Tadmorem patentován kotouč rotující ve stejném směru. Komerčně využit byl firmou Farrel Corporation pod obchodním názvem Diskpack (obr. 22). [5]



Obr. 22 – Diskpack [5]

Přehled vývoje strojů pro zpracování plastů

Stroj	Proces	Vynálezce	Rok	Komentář
Hnětací stroj The Pickle	Míchání	T. Hancock	1820	Zpracování pryže
Třecí válcový stroj	Míchání	E. Chaffe	1836	Vyhřívané válce párou
Kalandr	Hlazení a leštění povrchu	E. Chaffe	1836	Potahování látky a kůže pryží
Šnekový vytlačovací stroj	Vytlačování	H. Bewly a R. Brooman	1845	



Přehled vývoje strojů pro zpracování plastů

Stroj	Proces	Vynálezce	Rok	Komentář
Šnekový vytlačovací stroj s pístem	Vytlačování	A. G. DeWolfe	1860	Nejdůležitější stroj pro zpracování plastů a pryže
		Phoenix Gummiwerke	1873	
		W. Kiel a J. Prior	1876	
		M. Gray	1879	
		F. Shaw	1879	
		J. Royle	1880	
	Vstřikování	J. W. Hyatt	1872	Použito nejprve pro celuloid
Protiběžný nespoluzabírající zdvojený šnekový extrudér	Vytlačování	P. Pfleiderer	1881	
Zubové čerpadlo	Vytlačování	W. Smith	1887	Pasqueti následně vynalezl vícestupňové zubové čerpadlo
Protiběžný šnekový extrudér	Vytlačování	A. Olier	1912	Pozitivní zdvihová závislost
Rotační šnekový extrudér	Míchání a vytlačování	R. W Easton	1916	Rotace probíhá ve stejném směru
Banburyho mísič	Dávkové míchání	F. H. Banbury	1916	Vyvinuto pro míchání pryže
Knetwolf (hnětací vlk)	Míchání dvěma rotory	W. Ellerman	1941	
Hnětač	Míchání a vytlačování	H. List	1945	Pro firmu Buss AG



Přehled vývoje strojů pro zpracování plastů

Stroj	Proces	Vynálezce	Rok	Komentář
Lineární stroj pro vstřikování plastu do forem	Vstřikování	W. H. Willert	1952	Vratný pohyb pístu
ZSK stroj	Kontinuální míchání a vytlačování	R. Erdmenger, G. Fahr, a H. Ocker	1955	Umožňují zpracování široké škály polymerních materiálů
<i>První systematická formulace teorie zpracování plastů</i>		<i>E. C. Bernhardt, J. M. McKelvey, P. H. Squires, W. H. Darnell, W. D. Mohr, D. I. Marshall, J. T. Bergen, R. F. Westover</i>	1958	<i>Většina z týmu DuPont</i>
Extrudér s normálním napětím	Vytlačování	B. Maxwell, A. J. Scalora	1959	Dva kotouče v relativním rotačním pohybu
Kontinuální extrudér	Vytlačování	R. F. Westover	1959	Vratný pohyb pístu
Extrudér s kluzným prvkem	Vytlačování	R. F. Westover	1962	Kluzná deska a dva rotující kotouče v relativním pohybu
Farrelův kontinuální mísič	Kontinuální míchání	P. Hold	1969	Navazuje na Banburyho mísič
Diskpack	Vytlačování	Z. Tadmor	1979	Kotouč rotující ve stejném směru

[5]

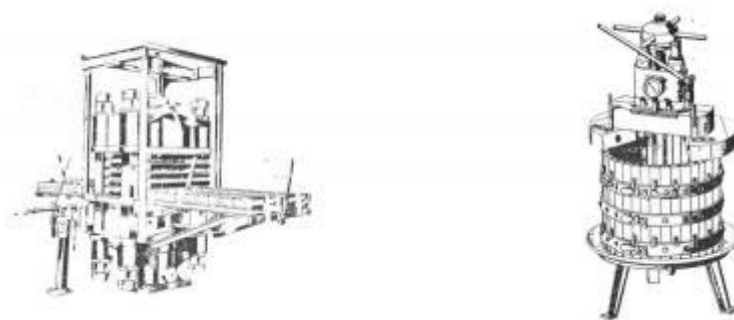
3.1 Historie vstřikování plastů v ČR

Historii technologie vstřikování plastů v ČR lze rozčlenit do tří etap, které se od sebe liší v závislosti na politickém uspořádání státu a z něho plynoucí ekonomické potence.

1. etapa: období první republiky (1918-1939)

Úroveň plastikářského a gumářského průmyslu v ČSR odpovídala situaci ve vyspělých evropských státech. Pozornost byla věnována především gumářskému průmyslu a rozvoji zpracování reaktoplastů (zejména fenolformaldehydové lisovací hmoty a v menší míře aminoplasty) s použitím technologie přímého lisování a později přetlačování. Výroba a zpracování termoplastů vstřikováním byly v počátečním stadiu.

Do historie rozvoje zpracovatelských strojů se u nás zapsal Ing. Jaroslav Vltavský, který si po desetiletém působení u železářské firmy Linhart založil v Rakovníku svoji vlastní firmu, v níž zpočátku vyráběl sušárny na chmel, později výrobu rozšířil o další strojírenské výrobky (mechanické lisy na cukr, formy na lití homolí, lisovací formy na keramiku, lisy na ovoce, mlýny, pračky aj.). V letech 1919-1920 vyrobila firma Vltavský první hydraulický vulkanizační lis pro firmu Baťa (obr. 23). Po úspěšném ověření byla výroba těchto vulkanizačních lisů rozšířena. Dodávaly se zejména firmám Baťa Zlín a Matador Bratislava.



Obr. 23 - Vulkanizační etážový lis vyrobený firmou Vltavský [8]

V roce 1929 bylo započato ve spolupráci s firmou Polák Praha s výrobou hydraulických lisů na lití kovů pod tlakem, které se staly spolu s hydraulickými lisy na plasty stěžejním programem firmy. První lisy byly mechanické, brzy však byly vyvíjeny a vyráběny výhradně stroje hydraulické, a to jak na přímé lisování a přetlačování reaktoplastů, tak později na vstřikování termoplastů. Po skončení 2. světové války dochází ke znárodnění firmy a včlenění do Spojených továren na obráběcí stroje. V r. 1949 po přičlenění závodů Praha-Holešovice, Praha-Vršovice a Lubenec vzniká samostatný podnik TOS se sídlem v Rakovníku.



2. etapa: období budovatelské (1945-1989)

Poválečné období se vyznačovalo likvidací válečných škod, reorganizací národního hospodářství a postupným znárodňováním soukromých firem.

V oblasti plastikářské výroby se často využívalo materiálů a technologií převzatých od německých firem (v době okupace i bezprostředně po válce).

Technologie vstřikování plastů se postupně začala prosazovat u nově se formujících státních podniků. Jako příklad lze vysledovat vznik n. p. Plastimat v Jablonci nad Nisou v roce 1946 a začátky vstřikování na vstřikovacích strojích Eckert Ziegler, Vltavský (TOS), Izoma aj. K rozšíření výroby převážně spotřebního zboží z termoplastů dochází v r. 1963 a souvisí s výstavbou nového závodu v Liberci a s přesídlením firmy do Liberce. V dalších letech dochází ke značnému zvýšení produkce plastových dílů jednak dalším rozšiřováním libereckého závodu, přičleněním závodu v Libáni, Havlíčkově Brodě, Plzni aj. a výstavbou nového provozu v Tachově (Strojplast).

Druhý zpracovatelský gigant se budoval ve Vrbně pod Pradědem. Utváření podniku Lisovny nových hmot probíhalo téměř deset poválečných let. K původní provozovně Chemy se integrovaly další závody (např. Elektropraga, Kovoplast, Koh-I-Noor). Teprve v r. 1954 byl ustaven podnik LNH v Olomouci. Prakticky po roce přesídlilo vedení do Vrbna pod Pradědem. Po delimitaci kovovýroby se LNH od r. 1965 zabývá výhradně tvářením plastů a výrobou forem. V r. 1965 dochází z rozhodnutí vlády k vytvoření sdružení Pragounion a k vytvoření zpracovatelského monopolu v ČSR.

Rozvoj technologie vstřikování plastů a budování dalších vstřikoven probíhalo též u specializovaných podniků (Tesla, ZPA, Sigma aj.), v oblasti výrobních družstev (např. Plzeňské dílo, Tvar, Obzor a další) a v neposlední řadě u tzv. přidružených výrobních JZD.

Vstřikovací stroje

Vývoj a výroba vstřikovacích strojů pokračovala v n. p. TOS Rakovník. Postupně byla opouštěna koncepce pístových strojů (úhlových i horizontálních) obr. 24) a do r. 1970 byl realizován vývoj a výroba šnekových strojů v osmi základních typech s uzavírací silou od 320 do 10 000 kN. V r. 1972 se též změnilo původní označování našich vstřikovacích strojů z CSE na CS (dle EUROMAP). V té době byla technická úroveň strojů CS srovnatelná s konkurenčními zahraničními stroji (Engel, Battenfeld aj.).

Na obr. 25 je vidět šnekový automatický stroj na termoplast CS 371/160. Stroj je horizontální čtyřsloupové konstrukce se vstřikem do osy, výrobce TOS Rakovník (1972).

Vývoj začal proti zahraniční konkurenci zaostávat po nasazení mikropočítačů do nových řídicích systémů a použití proporcionální hydrauliky umožňující dokonalejší řízení a regulaci vstřikovacího procesu. Dalším hrubým zásahem do vývoje vstřikovacích strojů v TOS Rakovník bylo politické rozhodnutí o delimitaci výroby z Rakovníku do s. p. Vihorlat Snina.

Periferie

Periferie do vstřikoven byly většinou z vlastních zdrojů, v menší míře nakupované z kapitalistických států (nedostatek devizových prostředků). Vývoj a výroba probíhaly často v rámci tzv. komplexní socialistické racionalizace. Tak např. v LNH Vrbno byla vyvinuta a vyráběna barvicí zařízení, dopravníky granulátu, nasávače kombinované s přehřevem, temperační zařízení na formy (TERM) a další



Obr. 25 - Šnekový automatický stroj na termoplast CS 371/160 [8]

Vstřikovací formy

Klasická konstrukce vstřikovacích forem vycházela z dlouholetých zkušeností našich konstruktérů, kteří položili základ velmi dobré úrovně, spolehlivosti a dlouhé životnosti forem pro vstřikování jak spotřebního zboží, tak technických dílů. Mezi avantgardu našich konstruktérů bezpochyby patří pánové J. Kulháněk, J. Fajgl, J. Hošic, J. Hendrych, J. Kolouch, M. Pícek z n. p. Plastimat, B. Bogumský, V. Hanák, J. Chytil, J. Čecháček z k. p. LNH Vrbno a další.



Obr. 24 - Pístový hydraulický lis na termoplasty s vertikálním vstřikem do dělicí roviny [8]



Výroba forem probíhala převážně klasickým obráběním, teprve v druhé polovině této etapy byla výroba pozvolna modernizována (elektrojiskrové obrábění, CNC obrábění, řezání drátkem aj.). Po vzoru zahraničních výrobců a dodavatelů normálií byly v podnicích Pragounionu vyvíjeny normálie forem i vlastní konstrukce horkých rozvodů a trysek pro bezodpadové vstřikování. Nelze též nevzpomenout na vývojový závod pro termoplasty v Plzni, kde již ke konci padesátých let byly vyvinuty a používány nové metody výroby tvarových dutin forem do univerzálních rámců: lisování do tekutých kovů (slitiny Zn, Al, Be), galvanický způsob, nástřik kovu na model, použití plněných epoxidových pryskyřic.

Termoplasty pro vstřikování

Sortiment termoplastů pro vstřikování se v této etapě dělil na plasty tuzemské výroby a plasty dovážené. Náhrada plastů dovážených tuzemskými byla v té době předmětem četných výhodných zlepšovacích námětů, mnohdy však s negativním konečným výsledkem. V polovině sedmdesátých let byly u nás k dispozici v omezeném sortimentu tyto termoplasty: PE, PP, PS, SB, ABS, PA 6, PMMA, PVC (v té době na evropském trhu bylo již k dispozici cca 50 druhů). To ale ještě nic neznamená, neboť např. ve vyspělém Švédsku se plasty v té době vůbec nevyráběly. Negativně se projevoval pouze nedostatek devizových prostředků na dovoz zejména konstrukčních plastů. Jedno z mála pozitivních rozhodnutí tehdejší vlády z r. 1970 bylo: vyrobit v r. 1975 více než 500 tisíc tun plastických hmot, tj. zhruba dvojnásobek proti roku 1970 a dosáhnout přitom vysokého podílu termoplastů, zejména PVC, PE a PP na jejich výrobě.

Vývoj a výzkum v oblasti vstřikování plastů

Vývoj v této oblasti probíhal v rámci tzv. technického rozvoje u jednotlivých podniků a závodů. Byl obvykle plánován po pětiletkách s každoročním zpřesňováním a vyhodnocováním. Podnikový vývoj byl obvykle finančně motivován přes zlepšovací návrhy, tematické náměty a patentovou činnost hrazenou většinou podnikem, který se stával spoluvlastníkem patentu s právem na realizaci a eventuální prodej. O aktivitě pracovníků vývoje a výzkumu svědčí též množství publikací v odborných časopisech a mnoho knižních publikací.

Výzkum procesu vstřikování plastů se v letech 1980 až 1990 dostal do výběru úkolů základního výzkumu. Řešením byl pověřen kolektiv pracovníků oddělení výzkumu vstřikování SVÚM v Praze. Prováděný výzkum se na konci osmdesátých let dostal do stadia realizace dvou základních programů nazvaných Multiparametrická optimalizace procesu vstřikování plastů z hlediska kvalitativních kritérií a Automatické optimální nastavení technologických parametrů na vstřikovacím stroji. První model (multiparametrická optimalizace) byl prakticky ověřen na různých typech

vstřikovacích strojů (Engel, Battenfeld, Arburg, Ferromatik Milacron, CS) a na různých termoplastech a výrobcích. Vypovídající schopnost modelu se ukázala ve všech případech jako velmi dobrá.

3. etapa: období novodobé (po roce 1990)

Během tohoto období došlo k postupnému vyrovnání úrovně s vyspělými zeměmi, a to ve všech oblastech technologie vstřikování: polymerní materiály, vstřikovací stroje a periferie, konstrukce a výroba vstřikovacích forem a realizace nových, modifikovaných způsobů vstřikování. K modernizaci strojového parku přispěl nástup zahraničního kapitálu a rozvoj zakázek pro atraktivní aplikace automobilového průmyslu, elektroniky, telekomunikační techniky a široký sortiment domácích spotřebičů. V popředí zájmu jsou v současné době zahraniční firmy s provozem na území ČR, jako je Magna Exteriors and Interiors (Bohemia), s.r.o., Liberec (dříve Plastimat, pak Peguform, dále Cadence Inovation), Automotiv Lighting Jihlava, Visteon Autopal Nový Jičín, Mecaplast Žebrák, Robert Bosch České Budějovice a další.

V silné konkurenci s minimální či žádnou podporou ze strany našich úřadů na regionální či státní úrovni úspěšně podnikají i ryze české vstřikovny, jako např. Kastek Uherský Brod, Zálesí Luhačovice, Plasty Jablonec nad Nisou, Lisovna plastů Velké Meziříčí a mnoho dalších.

V oblasti vstřikovacích strojů představil TOS Rakovník v roce 1995 na MSV v Brně vstřikovací stroje nové generace (vystaven byl stroj VS 160 s uzavírací silou 1 600 kN). Záměr vyrábět ucelenou řadu vstřikovacích strojů s uzavírací silou od 500 kN do 3 500 kN však zřejmě z konkurenčních důvodů nevyšel. Tradici výroby vstřikovacích strojů v Rakovníku na konci dvacátého století převzala nově vzniklá firma Invera-Technik (nyní Invera, s. r. o.). V současné době Invera nabízí novou generaci vstřikovacích strojů Intec či Intec Economy (jednodušší verze): horizontální stroje s uzavírací silou až do 30 000 kN, vertikální či kombinované vstřikovací stroje Intec Vertical (různá poloha vstřikovací a uzavírací jednotky), dvou- a tříkomponentní stroje. Na obr. 26 je vidět horizontální vstřikovací stroj Intec 250.



Obr. 26 - Horizontální vstřikovací stroj Intec 250 [7]



Poslední období (rok 2009) se celosvětová hospodářská krize podepsala i na plastikářském průmyslu v ČR. Zpracovatelé plastů, výrobci strojů a periférií, výrobci a dodavatelé polymerních materiálů se dostávají do velkých finančních problémů, ruší či omezují se výroby plastových dílů, hledají se náhradní programy, pozastavila se modernizace. Rozhodujícím kritériem pro nákup materiálů a strojního vybavení se stává cena, nikoliv kvalita. U většiny firem plastikářského průmyslu se projevil pokles výroby či stagnace. Situace se stává nepřehlednou a vývoj v této oblasti se prakticky nedá odhadnout. [8]

4. Diskuse

Vzhledem k teoretickému charakteru práce jsou zjištěné výsledky této práce založeny na mnoha publikacích, které se tomuto tématu věnují. V odborné literatuře ani na internetových zdrojích nebyly nalezeny žádné podstatné rozpory či odlišnosti, často se naopak prameny vhodně doplňují.

Důvodem postupného rozvoje polymerů v materiálovém průmyslu, který je popsán v této práci, a který dospěl až k jejich dnešní nadvládě nad ostatními materiály, je bezesporu to, že se u polymerů dají výrazně ovlivnit mechanické a fyzikální vlastnosti konečného výrobku. Tento fakt přináší řadu výhod oproti jiným materiálům. Mezi ně patří mimo jiné:

- kluzné vlastnosti
- menší měrná hmotnost
- korozivzdornost, chemická odolnost
- tlumí rázy a chvění
- fungují jako elektrické a tepelné izolanty
- propouštějí elektromagnetické vlny a gama záření
- výborné zpracovatelské vlastnosti, možnost uplatnění designu

Všechny tyto výhody polymerů předčí ostatní materiály hlavně v jejich poměru s cenou. A příznivá cena materiálu a nízké náklady na jeho výrobu jsou stěžejním kritériem pro volbu vhodného materiálu výrobku.



5. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo rozebrat historii polymerů od jejich počátků až po současnost a tím tak zmapovat celkový vývoj lidského bádání od doby, kdy člověk poprvé dokázal využívat ze začátku přírodní polymery a posléze syntetické polymery, až po dobu tzv. „polymerního světa“, ve kterém dnes žijeme.

Z historického náhledu na polymery, který se snažila tato práce popsat, vyplývá, že největší milník, který nastartoval využívání polymerů, byl nejspíše objev přírodního kaučuku a zvládnutí jeho zpracování. Tento moment byl počátkem dlouhého procesu objevování nových materiálů. Důvod neustálého objevování a přípravy nových polymerních materiálů byl prostý – vynálezci se snažili přijít na trh s novými výrobky, které předčí ty dosavadní. Tomu nahrávali výborné vlastnosti polymerů. Každý polymer měl své specifické vlastnosti a tím i své vlastní uplatnění. Většinu objevů v tomto období ovšem nedosáhli vědci, ale spíše „domácí kutilové“, kteří se snažili nové materiály různě upravovat a tím i materiálům dát nové vlastnosti. Při těchto experimentech mnohdy sehrála velmi významnou roli náhoda.

Vynálezům a objevitelům nových polymerních materiálů samozřejmě pomohl i technický vývoj. Velkou roli sehrála technická revoluce, které přinesla nové stroje a technologie, které vynálezci mohli využívat. Ostatně stroje na přípravu a zpracování polymerů vzešly z invenční praxe a většinou byly založeny na osvědčených strojích pro zpracování již dříve známých materiálů.

Neustálý technický pokrok znamenal také zlepšování strojů, technologií a dalších postupů. Tím se pochopitelně zlepšovaly i vlastnosti polymerních materiálů a to vedlo k jejich masivnímu rozšíření. Dnes spotřeba polymerů předčila všechny ostatní materiály.



6. Seznam použité literatury

Materiálové listy a firemní literatura:

- [1] VESELÝ K.: *Polymery*. Brno: Česká společnost průmyslové chemie, 1992. ISBN 80-02-00951-7
- [2] KREBS J.: *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-133-3
- [3] DUCHÁČEK V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [4] PROKOPOVÁ I.: *Makromolekulární chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007. ISBN 80-7080-554-4
- [5] TADMOR Z. - GOGOS C.: *Principles of Polymer Processing, 2nd ed.*. Newark: A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2006. ISBN 0-471-38770-3

Články v odborných časopisech:

- [6] KOTEK J., RAAB M.: Quo vaditis, polymery?. *Vesmír: v poznání je síla*, březen 2009, roč. 138, s. 186-189. ISSN 0042-4544
- [7] VOROS F.: Světová výroba plastů poklesla. *Plasty a kaučuk*, leden 2009, roč. 46, č. 1-2, s. 59. ISSN 0322-7340
- [8] NEUHÄUSL E.: Historie a rozvoj vstřikování plastů v ČR. *MM Průmyslové spektrum*, únor 2010, roč. 13, č. 1-2, s. 17-19. ISSN 1212-2572

Elektronické zdroje informací:

- [9] URL: <http://technik.ihned.cz/c4-10015300-11352820-800000_d-zacalo-stoleti-plastu> [cit. 2010-05-28]
- [10] URL: <http://www.rozhlas.cz/mozaika/veda/_zprava/446775> [cit. 2010-05-28]
- [11] URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Gutaperča>> [cit. 2010-05-28]



- [12] URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_chloride> [cit. 2010-05-28]
- [13] URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Celuloid>> [cit. 2010-05-28]
- [14] URL:
<http://www.jihlava.cz/vismo/dokumenty2.asp?id_org=5967&id=465931> [cit. 2010-05-28]
- [15] URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bakelit>> [cit. 2010-05-28]
- [16] URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene>> [cit. 2010-05-28]
- [17] URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylen>> [cit. 2010-05-28]
- [18] URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene>> [cit. 2010-05-28]
- [19] URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>> [cit. 2010-05-28]
- [20] URL:
<<http://www.plasticseurope.org/Content/Default.asp?PageName=openfile&DocRef=20090930-001>> [cit. 2010-05-28]
- [21] URL: <<http://www.inovace.cz/for-high-tech/biotechnologie/clanek/bioplasty---materialy-budoucnosti/>> [cit. 2010-05-28]
- [22] URL: <<http://www.enviweb.cz/clanek/obecne/71586/plasty-ve-svete-budoucnosti>> [cit. 2010-05-28]
- [23] URL: <<http://www.inovace.cz/for-high-tech/nanotechnologie/clanek/nanovlakna-material-budoucnosti-/>> [cit. 2010-05-28]
- [24] URL:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm> [cit. 2010-05-28]

7. Seznam příloh

Příloha 1: Odkazy na některé patenty k prohlédnutí



Příloha 1

- Banburyho mísič -
<http://www.google.com/patents?id=935SAAAAEBAJ&zoom=4&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>
- Hnětač Kneader -
<http://www.google.com/patents?id=x9leAAAAEBAJ&zoom=4&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>
- Výroba celuloidu -
<http://www.google.com/patents?id=6CMfAAAAEBAJ&zoom=4&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>
- Výroba kaučuku -
http://www.google.com/patents?id=vpA_AAAAEBAJ&zoom=4&pg=PP1#v=onepage&q&f=false
- Pneumatika pro kola –
<http://www.google.com/patents?id=fSJeAAAAEBAJ&zoom=4&pg=PA2#v=onepage&q&f=false>

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnou-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 28. 5. 2010

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I use inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expense invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Datum: 28. 5. 2010

Signature: